Docket No. 240878US2X

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Hideo NAKAI, et al. GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: MOTOR DRIVING CONTROL DEVICE

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of **35 U.S.C. §120.**

☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of **35 U.S.C. §119(e)**: **Application No.** **Date Filed**

■ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of **35 U.S.C. §119**, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY	**APPLICATION NUMBER**	**MONTH/DAY/YEAR**
Japan	2002-217454	July 26, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ■ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
  Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
  - ☐ are submitted herewith
  - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Marvin J. Spivak
Registration No. 24,913
James D. Hamilton
Registration No. 28,421

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application: ２００２年　７月２６日

出 願 番 号
Application Number: 特願２００２－２１７４５４

[ST.10/C]: ［ＪＰ２００２－２１７４５４］

出 願 人
Applicant(s): 株式会社豊田中央研究所
トヨタ自動車株式会社

２００３年　５月２３日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office　太田信一郎

出証番号　出証特２００３－３０３８３８４

【書類名】　特許願
【整理番号】　TC1-0576
【提出日】　平成14年 7月26日
【あて先】　特許庁長官殿
【国際特許分類】　H02K 11/00
【発明者】
　【住所又は居所】　愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内
　【氏名】　中井　英雄
【発明者】
　【住所又は居所】　愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内
　【氏名】　夫馬　弘雄
【発明者】
　【住所又は居所】　愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内
　【氏名】　稲熊　幸雄
【発明者】
　【住所又は居所】　愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内
　【氏名】　中村　誠志
【特許出願人】
　【識別番号】　000003609
　【氏名又は名称】　株式会社豊田中央研究所
【特許出願人】
　【識別番号】　000003207
　【氏名又は名称】　トヨタ自動車株式会社
【代理人】
　【識別番号】　100075258
　【弁理士】

【氏名又は名称】　吉田　研二
【電話番号】　0422-21-2340
【選任した代理人】
【識別番号】　100096976
【弁理士】
【氏名又は名称】　石田　純
【電話番号】　0422-21-2340
【手数料の表示】
【予納台帳番号】　001753
【納付金額】　21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】　明細書　1
【物件名】　図面　1
【物件名】　要約書　1
【プルーフの要否】　要

【書類名】　明細書
【発明の名称】　モータ駆動制御装置
【特許請求の範囲】
【請求項１】　ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動制御装置であって、
前記複数個の多相コイルの少なくとも１つの相電流であって、独立した相電流の個数よりも少ない数の相電流を計測する相電流検出手段と、
検出した相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、
を有し、
制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御するモータ駆動制御装置。
【請求項２】　ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動装置であって、
前記複数個の多相コイルの１つずつの相電流を加算した少なくとも１つの加算相電流であって加算相電流の総数より少ない数の加算相電流を計測する加算相電流検出手段と、
検出した加算相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、
を有し、
制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御するモータ駆動制御装置。
【請求項３】　請求項２に記載の装置において、
前記モータは中性点同士が接続された２つの多相コイルを含み、この２つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、
前記加算相電流検出手段は、少なくとも２つの加算相電流を検出し、
かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを

利用するモータ制御装置。

【請求項４】　請求項２に記載の装置において、

前記モータは中性点同士が接続された２つの多相コイルを含み、この２つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、

かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用するモータ制御装置。

【請求項５】　請求項２に記載の装置において、

前記モータは独立した２つの多相コイルを含み、

前記加算相電流検出手段は、少なくとも２つの加算相電流を検出し、

かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを利用するモータ制御装置。

【請求項６】　請求項２に記載の装置において、

前記モータは独立した２つの多相コイルを含み、

かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用するモータ制御装置。

【請求項７】　請求項１～６のいずれか１つに記載の装置において、

前記多相コイルは、３相コイルであるモータ駆動制御装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動装置に関する。

【０００２】

【従来の技術】

従来より、永久磁石モータや、誘導モータなど、ステータコイルにより回転磁界を形成し、ロータを回転させる形式の交流モータが知られている。このような交流モータにおいては、インバータを用いてステータコイルの電流を制御することで、広範囲の出力トルク制御が行えるとともに、回生電力をバッテリなどに回収できるというメリットも得られる。

【０００３】

このような交流モータとしては、互いに１２０度ずつずれた３相コイルを有する３相モータが最も一般的であるが、システムによっては、この３相コイルを複数設ける場合もある。例えば、複数の３相モータを駆動する場合であれば、３相コイルが複数個設けられる。さらに、３相コイルを１つのロータに対し複数組設けるモータも知られている。このモータにおいても、１つのシステム内に３相コイルが複数個設けられる。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、このようなモータは、各３相コイルに対し、インバータをそれぞれ設け、このインバータのスイッチングをそれぞれ制御して駆動制御が行われる。そこで、複数の３相コイルのコイル電流を別途検出して、インバータのスイッチングを制御することが必要になる。

【０００５】

通常３相モータでは、３相コイルの内の２相のコイル電流を測定し、これに基づいて３相コイルの電流を算出し、各相コイル電流が所望の値になるようにインバータのスイッチングを制御している。

【０００６】

このため、６相のコイルでは、４つの電流センサが必要となる。この電流センサは、交流モータの正確な制御のためには、精度のよいものとする必要があり、多数の電流センサを必要とするためにシステムが高価になってしまうという問題があった。

【０００７】

なお、モータにオブザーバを適用したモータは、特開平１０－２２５１９９号公報、特開２００１－３０９６９７号公報などに示されている。

【０００８】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、モータにおいて、電流センサ数を減少することができるモータの駆動制御装置を提供することを目的とする。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

本発明は、ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動制御装置であって、前記複数個の多相コイルの少なくとも１つの相電流であって、独立した相電流の個数よりも少ない数の相電流を計測する相電流検出手段と、検出した相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、を有し、制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御することを特徴とする。

【００１０】

このように、本発明では、モデルを用いてモータ電流を推定するため、３相コイルのような多相コイルの電流の検出する数を減少できる。例えば、３相コイルを有するモータにおいては、２つのコイル電流を測定することが必要であり、３相モータを２つ有する場合には、４つのコイル電流を測定する必要がある。しかし、本発明によれば、モデルの推定を利用することによって、これより少ない数の電流検出により、モータ駆動を制御することができる。

【００１１】

また、本発明は、ロータを回転させるための回転磁界を生起する多相コイルを複数個有するモータの駆動装置であって、前記複数個の多相コイルの１つずつの相電流を加算した少なくとも１つの加算相電流であって加算相電流の総数より少ない数の加算相電流を計測する加算相電流検出手段と、検出した加算相電流と、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを利用して、モータの状態を推定し、この推定結果に基づきモータへの駆動制御信号を生成する制御信号生成手段と、を有し、制御信号生成手段からの駆動制御信号に応じて、モータの各相電流を制御して、モータの駆動を制御することを特徴とする。

【００１２】

また、前記モータは中性点同士が接続された２つの多相コイルを含み、この２つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、前記加算相電流検出手段は、少なくとも２つの加算相電流を検出し、かつ

前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを利用することが好適である。

【００１３】

また、前記モータは中性点同士が接続された２つの多相コイルを含み、この２つの多相コイルの中性点間に流れる中性点電流を検出する中性点電流検出手段を設け、かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用することが好適である。

【００１４】

このように、加算相電流を計測することで、計測する電流の数を非常に少なくして、モデルを構成することができ、これを利用して相電流を推定することができる。また、２つの多相コイルの中性点間が接続されている場合には、この中性点間に流れる零相電流についてのモデルは独立しており、零相電流を計測することが必要となる。

【００１５】

また、前記モータは独立した２つの多相コイルを含み、前記加算相電流検出手段は、少なくとも２つの加算相電流を検出し、かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして線形モデルを利用することが好適である。

【００１６】

また、前記モータは独立した２つの多相コイルを含み、かつ前記モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルとして非線形モデルを利用することが好適である。

【００１７】

２つの多相コイルの中性点間が接続されていない場合には、零相電流はなく、これを検出する必要がなくなる。

【００１８】

なお、前記多相コイルは、３相コイルであることが好適である。

【００１９】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について、図面に基づいて説明する。

【００２０】

本実施形態では、６相モータ（モータ）についての、オブザーバを定義し、このオブザーバを利用して、少ないセンサ数で、６相のモータコイル電流を算出して、６相モータの駆動を制御する。

【００２１】

［基本構成］

図１１には、６相モータの基本的構成が示されている。６相モータＭは、２つの３相コイルＹ１、Ｙ２を有している。３相コイルＹ１には、インバータＩＮＶ１が接続されており、３相コイルＹ２には、インバータＩＮＶ２が接続されている。これらインバータＩＮＶ１、ＩＮＶ２は、それぞれ直列接続された一対のスイッチング素子からなるアームを３本有しており、一対のトランジスタ同士の接続点がそれぞれ対応する３相コイルＹ１、Ｙ２の３つのコイル端に接続されている。

【００２２】

そして、インバータＩＮＶ１、ＩＮＶ２の入力側には、バッテリＢが接続されている。また、コントローラＣＯＮが設けられ、インバータＩＮＶ１、ＩＮＶ２のスイッチング素子をオンオフする。

【００２３】

インバータＩＮＶ１は、３相コイルＹ１に１２０度ずつ位相が異なる電流Ｉｕ１、Ｉｖ１、Ｉｗ１を供給し、インバータＩＮＶ２は、３相コイルＹ２に１２０度ずつ位相が異なる電流Ｉｕ２、Ｉｖ２、Ｉｗ２を供給する。

【００２４】

図において、３相コイルＹ１、Ｙ２は、独立して設けられている。しかし、本実施形態では、２つの３相コイルＹ１、Ｙ２の中性点間を低圧バッテリを介し接続するシステムでもよく、この場合にはバッテリＢに代えてコンデンサを採用することもできる。

【００２５】

［回路方程式］

まず、２つのスター結線コイルを有するＰＭ（Permanent Magnet）モータの回

路方程式について説明する。

【００２６】

対象となる６相モータの概略構成を図１に示す。このように、２つのスター結線コイルＹ１、Ｙ２が若干位相を異ならせて配置されている。この例では、１つ目のスター結線コイルＹ１は、ステータ上のある基準位置（図においては上方）からθ１の角度を持ち、２つ目のスター結線コイルＹ２は基準位置からθ２の角度を持っている。なお、スター結線コイルＹ１、Ｙ２とも、３つのコイルを互いに１２０度ずらせてスター結線したものである。

【００２７】

このような図１のＰＭモータについての電圧方程式は、式（１）で表される。

【数１】

$$\hat{\mathbf{v}} = R\hat{\mathbf{i}} + \hat{\mathbf{v}}_{\mathbf{m}} + \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{dt}}\left\{\left(\hat{l}_a\mathbf{I} + \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{m}}(\theta_1,\theta_1) & \hat{\mathbf{m}}(\theta_1,\theta_2) \\ \hat{\mathbf{m}}(\theta_2,\theta_1) & \hat{\mathbf{m}}(\theta_2,\theta_2) \end{pmatrix}\right)\hat{\mathbf{i}}\right\} \quad (1)$$

$$\hat{\mathbf{v}} = \begin{pmatrix} v_{u1} \\ v_{v1} \\ v_{w1} \\ v_{u2} \\ v_{v2} \\ v_{w2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\hat{\mathbf{i}} = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{v}}_{\mathbf{m}} = \omega\hat{\psi}_{\mathbf{m}} \begin{pmatrix} \sin\theta_1 \\ \sin(\theta_1 - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta_1 + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin\theta_2 \\ \sin(\theta_2 - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta_2 + \frac{2\pi}{3}) \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\hat{\mathbf{m}}(x,y)|_{i,j} = \hat{L}_d \cos x_i \cos y_j + \hat{L}_q \sin x_i \sin y_j \qquad (i=1,2,3\,,\ j=1,2,3) \quad (5)$$

$$x_1 = x$$
$$x_2 = x - \frac{2\pi}{3}$$
$$x_3 = x + \frac{2\pi}{3}$$
$$y_1 = y$$
$$y_2 = y - \frac{2\pi}{3}$$
$$y_3 = y + \frac{2\pi}{3}$$

【００２８】

ここで、式（１）における＾ｖ，Ｒ，＾ｉ，＾ｖｍ，＾ｌａ，＾ｍ（θ１，θ１），＾ｍ（θ１，θ２），＾ｍ（θ２，θ１），＾ｍ（θ２，θ２）は、それぞれスター結線の端子電圧、コイル抵抗、コイルの相電流、磁石による磁束により生じる電圧、コイルの漏れ磁束、Ｙ１結線のコイル間のインダクタンス、Ｙ２結線の電流によりＹ１結線のコイルに生じる磁束のインダクタンス、Ｙ１結線の電流によりＹ２結線のコイルに生じる磁束のインダクタンス、Ｙ２結線のコイル間のインダクタンスである。

【００２９】

また，式（２）、（３）の右辺のベクトル内各要素の添え字は，数字の１，２がＹ１，Ｙ２の結線をあらわし，ｕ，ｖ，ｗが各スター結線内のＵ相，Ｖ相，Ｗ相を表す。例えば、ｖｕ１は，Ｙ１結線のＵ相の端子電圧を表している。また、（５）式で＾Ｌｄ，＾Ｌｑはｄｑ軸のインダクタンスを表す。

【００３０】

なお、式（５）で用いた＾ｍ（ｘ，ｙ）｜ｉ，ｊは、マトリクス＾ｍ（ｘ，ｙ）のｉ行ｊ列の要素を示す。

【００３１】

［６相モータのオブザーバ］

以下に、上述のような６相モータのオブザーバについて説明する。

【００３２】

（各相間において干渉がある場合）

まず、６相モータの状態方程式である式（１）をｄｑ軸に変換することで、式（６）、（１４）となる。

【００３３】

式（１）はモータが有効に使えるトルクに寄与する電流成分であり、式（１４）はモータが有効に使えるトルクに寄与しない電流成分である。ここで、ｉｄ１，ｉｄ２，ｉｑ１，ｉｑ２，ｖｄ１，ｖｄ２，ｖｑ１，ｖｑ２，φｍ，ｉγ１２，ｖγ１，ｖγ２は、それぞれ、Ｙ１結線のｄ軸電流、Ｙ２結線のｄ軸電流、Ｙ１結線のｑ軸電流、Ｙ２結線のｑ軸電流、Ｙ１結線のｄ軸電圧、Ｙ２結線のｄ軸電圧、Ｙ１結線のｑ軸電圧、Ｙ２結線のｑ軸電圧、磁石による起電力係数（Ｖｓ／ｒａｄ）、零相電流、Ｙ１のスター結線の中点電位、Ｙ２のスター結線の中点電位を表し、Ｌｄ，Ｌｑはｄｑ軸のインダクタンスを表し、＾Ｌｄ，＾Ｌｑには係数倍の関係がある。なお、ωは電気角速度（ｒａｄ／ｓ）である。

【００３４】

【数２】

$$\frac{d}{dt}\bar{x} = \bar{\mathbf{A}}(\omega)\bar{x} + \bar{B}_u\bar{\mathbf{u}} - \bar{B}_u\bar{v} \tag{6}$$

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \tag{7}$$

$$\bar{u} = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \tag{8}$$

$$\bar{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \tag{9}$$

$$\bar{\mathbf{A}}(\omega) = \begin{pmatrix} \frac{-R}{\delta_d l_a}\begin{pmatrix} L_d + l_a & -L_d \\ -L_d & L_d + l_a \end{pmatrix} & \frac{\omega}{\delta_d}\begin{pmatrix} L_d + L_q + l_a & L_q - L_d \\ L_q - L_d & L_d + L_q + l_a \end{pmatrix} \\ \frac{-\omega}{\delta_q}\begin{pmatrix} L_d + L_q + l_a & L_d - L_q \\ L_d - L_q & L_d + L_q + l_a \end{pmatrix} & \frac{-R}{\delta_q l_a}\begin{pmatrix} L_q + l_a & -L_q \\ -L_q & L_q + l_a \end{pmatrix} \end{pmatrix} \tag{10}$$

$$\bar{B}_u = \begin{pmatrix} \frac{1}{\delta_d l_a}\begin{pmatrix} L_d + l_a & -L_d \\ -L_d & L_d + l_a \end{pmatrix} & \phi_{2\times2} \\ \phi_{2\times2} & \frac{1}{\delta_q l_a}\begin{pmatrix} L_q + l_a & -L_q \\ -L_q & L_q + l_a \end{pmatrix} \end{pmatrix} \tag{11}$$

$$\delta_d = 2L_d + l_a \tag{12}$$

$$\delta_q = 2L_q + l_a \tag{13}$$

$$\frac{d}{dt}x_z = ax_z + b_u u_z \tag{14}$$

$$x_z = i_{\gamma 12} \tag{15}$$

$$u_z = v_{\gamma 1} - v_{\gamma 2} \tag{16}$$

$$a = -\frac{R}{l_a} \tag{17}$$

$$b_u = \frac{1}{l_a} \tag{18}$$

推定対象は式（６）と式（１４）であるが、これらは独立であるので、個別に考える必要がある。

【００３５】

まず、式（６）は、角速度を一定と仮定すれば、通常の線形モデルなので一般のオブザーバが利用できる。なお、モータの定常回転を考えればこの仮定は成立する。また、モータに慣性負荷がある場合には、モータの回転慣性が大きく、角速度変化が電流変化に対して十分大きいため上記仮定は成立すると考えられる。

【００３６】
次に、これら２つの状態方程式の可観測性を検討する。式（６）の可観測性を、Ｌｄ＝０．２４８６　ｍＨ，Ｌｑ＝０．５６９５　ｍＨ，ｌａ＝０．１９　ｍＨ，Ｒ＝４６．５　ｍΩ，φｍ＝０．０５１６　Ｖ／（ｒａｄ／ｓ），４極対，ロータ回転数３０００　ｒｐｍ（ω＝１２５７　ｒａｄ／ｓ）の特性のモータで考えてみる。

【００３７】
まず、１つの電流だけ観測できる条件を考える。すなわち、観測行列としては、Ｃ＝（１　０　０　０），Ｃ＝（０　１　０　０），Ｃ＝（０　０　１　０），Ｃ＝（０　０　０　１）である。この諸元では、￣Ａ（ω）とＣは可観測対であり、式（６）は可観測である。

【００３８】
一方、モータは、抵抗値を極力抑えるように設計されるので、Ｒ＝０の場合についても可観測性の確認をしておく。まず、１つの電流だけ観測できる条件を考える。すなわち、観測行列としては、Ｃ＝（１　０　０　０），Ｃ＝（０　１　０　０），Ｃ＝（０　０　１　０），Ｃ＝（０　０　０　１）である。この諸元では、￣Ａ（ω）とＣは可観測対でないので，式（６）は可観測でない。

【００３９】
次に、Ｒ＝０の場合における２つの電流が観測できる条件を考える。すなわち、観測行列としては、Ｃ＝（１　１　０　０），Ｃ＝（１　０　１　０），Ｃ＝（１　０　０　１），Ｃ＝（１　０　０　１）である。この諸元では、￣Ａ（ω）とＣは可観測対であり，式（６）は可観測である。

【００４０】
実際のモータにおける推定を考えると、抵抗Ｒの大きさにより、１つの電流を観測するか２つの電流を観測するかという上記２つの条件を使い分ける必要があると考えられる。

【００４１】
他方、式（１４）であるが、これは状態量が１つなので直接計る他はない。

【００４２】

改めて、推定対象である式（６）について考え、次の式（１９）のように書き換える。

【数３】

$$\frac{d}{dt}\boldsymbol{x} = \mathbf{A}(\omega)\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}_u\boldsymbol{u} + \boldsymbol{B}_v\boldsymbol{v} \qquad (19)$$

$$\boldsymbol{x} = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \qquad (20)$$

$$\boldsymbol{u} = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \qquad (21)$$

$$\boldsymbol{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \qquad (22)$$

$$\mathbf{A}(\omega) = \bar{\mathbf{A}}(\omega) \qquad (23)$$

$$\boldsymbol{B}_u = \bar{\boldsymbol{B}}_u \qquad (24)$$

$$\boldsymbol{B}_v = -\bar{\boldsymbol{B}}_u \qquad (25)$$

【００４３】

ここで、観測できる値が相電流ｙなので，観測ノイズをｗとしシステムの出力を式（２６）で与えれば、式（２８）のようにオブザーバを組むことができる。ここで、Ｃはｎｃ行６列の行列（ｎｃ＝１，２）である。

【００４４】

【数４】

$$y = Cx_p + w \tag{26}$$

$$x_p = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \end{pmatrix} \tag{27}$$

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \hat{L}(y - C\mathbf{T}'_e(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \tag{28}$$

$$\mathbf{T}_e(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} \mathrm{t}(\theta_1)\bar{t} & \phi_{2\times 3} \\ \phi_{2\times 3} & \mathrm{t}(\theta_2)\bar{t} \end{pmatrix} \tag{29}$$

$$\bar{t} = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \tag{30}$$

ここで、ｘｐの推定値をｘｅとする。

【００４５】

ところが、このままでは、オブザーバゲイン＾Ｌが決められないので、さらに＾Ｌ＝Ｌ（ω）Ｔａ（θ）を導入し、式（２８）を式（３１）のように書き換える。

【数５】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)(\mathbf{T}_a(\theta)y - \mathbf{T}_a(\theta)C\mathbf{T}'_e(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \tag{31}$$

【００４６】

ここで、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）がθによらず、一定になるように、Ｔａ（θ）Ｃを選べれば、システムへの入力をＴａ（θ）ｙと見なした線形オブザーバになる。

【００４７】

まず、観測量が２つの場合を考える。

【００４８】

Ｔａ（θ）＝ｔ（θ）　　（３２）

と仮定し、Ｃの前３列をＣ１、後ろ２列をＣ２、すなわち、Ｃ＝（Ｃ１，Ｃ２）とすれば、上記条件は、以下のように書き換えられる。

【数６】

$$\mathbf{T}_a(\theta)\boldsymbol{C}\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2) = \begin{pmatrix} \mathbf{t}(\theta)\mathbf{C}_1\hat{\mathbf{t}}'\mathbf{t}'(\theta_1) & \mathbf{t}(\theta)\mathbf{C}_2\hat{\mathbf{t}}'\mathbf{t}'(\theta_2) \end{pmatrix} \tag{33}$$

【００４９】

ここで、Ｃ１＾ｔ’＝α１Ｉ２かつＣ２＾ｔ’＝α２Ｉ２（α１とα２は定数）であれば、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）は定数行列である。Ｃ１＝＾ｔ，Ｃ２＝＾ｔもこれら条件を満たす１つの解ではある。しかし、この解は、全ての相の電流を観測することとなり、オブザーバを用いる意味がない。ここでは、次のようにＣを、式（３４）のようにした。

【数７】

$$\boldsymbol{C} = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \tag{34}$$

【００５０】

この時、Ｔｅ’（θ１，θ２）は式（２９）より式（３５）のように整理できる。さらに、ＣＴｅ’（θ１，θ２）は式（３４），（３５）より式（３７）のように整理できる。また、Ｔａ（θ１，θ２）ＣＴｅ’（θ１，θ２）は式（３２），（３７）より式（３８）のように整理できる。ただし、Ｉ２は２行２列の単位行列である。

【数８】

$$\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2) = \begin{pmatrix} \mathbf{m}_{cs}(\theta_1) & \phi_{3\times 2} \\ \phi_{3\times 2} & \mathbf{m}_{cs}(\theta_2) \end{pmatrix} \tag{35}$$

$$\mathbf{m}_{cs}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{pmatrix} \tag{36}$$

$$\boldsymbol{C}\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \mathbf{t}'(\theta_1) & \mathbf{t}'(\theta_2) \end{pmatrix} \tag{37}$$

$$\mathbf{T}_a(\theta)\boldsymbol{C}\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \boldsymbol{I}_2 & \mathbf{t}(\theta_1 - \theta_2) \\ \mathbf{t}'(\theta_1 - \theta_2) & \boldsymbol{I}_2 \end{pmatrix} \tag{38}$$

【００５１】

ここで、θ１－θ２は一定値であり、式（３８）よりＴａ（θ）ＣＴｅ’（θ

１，θ２）は一定値となる。ここで、Ｃｔ＝Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）とし，入力をｙｔ＝Ｔａ（θ）ｙとすれば、式（３１）は次の式（３９）の線形オブザーバとなる。

【数９】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)(y_t - C_t x_e) + B_u u + B_v v \tag{39}$$

【００５２】

なお、実際のオブザーバは、相電流ｉｕ１と相電流ｉｕ２との両方を一括して測定し、相電流ｉｖ１と相電流ｉｖ２との両方も一括して測定し、観測量～ｙを以下のようにとる。

【数１０】

$$\tilde{\mathbf{y}} = \begin{pmatrix} i_{u1} + i_{u2} \\ i_{v1} + i_{v2} \end{pmatrix} + \tilde{\mathbf{w}} \tag{40}$$

【００５３】

そして、この電流測定値を以下のように用いてオブザーバを構成する。

【数１１】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)(\mathbf{T_a}(\theta)y - C_t x_e) + B_u u + B_v v \tag{41}$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 2/\sqrt{3} \end{pmatrix} \tilde{\mathbf{y}} + w \tag{42}$$

【００５４】

このように、式（４１）（４２）の線形オブザーバを利用することによって、ｉｕ１＋ｉｕ２と、ｉｖ１＋ｉｖ２を観測することで、モータの状態を認識することができる。そこで、３つの３相コイルを有するモータについて、２つの電流値の計測によって、モータの状態を検出し、モータ駆動電流を制御することができる。

【００５５】

次に、観測量が１つの場合を考える。Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）がθによらず一定となるようなＴａ（θ）Ｃがあるか無いかを検討する。

【００５６】

【数１２】

$$\mathbf{T_a}(\theta)C\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2) = \mathbf{T_a}(\theta)\begin{pmatrix} C_1 & C_2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \mathbf{m_{cs}}(\theta_1) & \phi_{3\times2} \\ \phi_{3\times2} & \mathbf{m_{cs}}(\theta_2) \end{pmatrix} = \mathbf{T_a}(\theta)\begin{pmatrix} C_1\mathbf{m_{cs}}(\theta_1) & C_2\mathbf{m_{cs}}(\theta_2) \end{pmatrix} \quad (43)$$

式（４３）はスカラ関数で、Ｃ１とＣ２は１行３列の定数行列だから、これを定数行列にするＴａ（θ）を見つけることは容易ではない。すなわち，線形オブザーバの適用は容易ではない。

【００５７】

改めて、式（２８）のオブザーバを考えてみる。ここでは、非線形オブザーバ理論の適用によりゲイン＾Ｌを～Ｌ（θ，ω）としてオブザーバを以下のように組む必要がある。

【数１３】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathrm{A}(\omega)x_e + \tilde{L}(\theta,\omega)(y - C\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \quad (44)$$

【００５８】

このように、非線形オブザーバを利用することによって、検出する電流は、１つでよいことになる。

【００５９】

また、式（１４）の零相電流については、別途検出する必要がある。

【００６０】

結局、６相モータを駆動するために必要な情報を得るためには、以下の方法が考えられる。

【００６１】

まず、２つの３相コイルの中性点同士が接続されているシステムにおいては、次の２つが採用できる。

【００６２】

（１）零相を測定するとともに、他に２つのセンサを使い電流（ｉｕ１＋ｉｕ２、ｉｖ１＋ｉｖ２）電流を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【００６３】

具体的には、図２に示すように、３つのセンサ（ｓｅｎｓｏｒ１～ｓｅｎｓｏｒ３）を設け、加算相電流ｉｕ１＋ｉｕ２、ｉｖ１＋ｉｖ２と、零相電流を測定する。

【００６４】

（２）零相を測定し，他に１つのセンサを使い電流を測定し、非線形オブザーバを組み合わせる。

【００６５】

具体的には、図３に示すように、２つのセンサ（ｓｅｎｓｏｒ１，ｓｅｎｓｏｒ２）を設け、加算相電流ｉｕ１＋ｉｕ２と零相電流を測定する。

【００６６】

また、中性点同士が接続されていない独立した３相コイルが２つ設けられた３相モータを２つ組み入れた構成のモータでは、次の２つが採用できる。

【００６７】

（１）２つのセンサを使い電流（ｉｕ１＋ｉｕ２、ｉｖ１＋ｉｖ２）を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【００６８】

具体的には、図４に示すように、２つのセンサ（ｓｅｎｓｏｒ１，ｓｅｎｓｏｒ２）を設け、加算相電流ｉｕ１＋ｉｕ２、ｉｖ１＋ｉｖ２を測定する。

【００６９】

（２）１つのセンサを使い電流を測定し、非線形オブザーバを組み合わせる。

【００７０】

具体的には、図５に示すように、１つのセンサ（ｓｅｎｓｏｒ１）を設け、加算相電流ｉｕ１＋ｉｕ２を測定する。

【００７１】

（相間での干渉がない場合）

次に、１つのスター結線１Ｙと他のスター結線２Ｙとの間に干渉がない場合について説明する。この場合、６相モータ状態方程式は、式（４５）、（４６）となる。

【数１４】

$$\frac{d}{dt}\bar{x} = \bar{\mathbf{A}}(\omega)\bar{x} + \bar{B_u}\bar{u} - \bar{B_u}\bar{v} \tag{45}$$

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \tag{46}$$

$$\bar{u} = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \tag{47}$$

$$\bar{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \tag{48}$$

$$\bar{\mathbf{A}}(\omega) = \begin{pmatrix} \frac{-R}{L_d}\mathbf{I_2} & \omega\frac{L_q}{L_d}\mathbf{I_2} \\ -\omega\frac{L_d}{L_q}\mathbf{I_2} & \frac{-R}{L_q}\mathbf{I_2} \end{pmatrix} \tag{49}$$

$$\bar{B_u} = \begin{pmatrix} \frac{1}{L_d}\mathbf{I_2} & \phi_{2\times 2} \\ \phi_{2\times 2} & \frac{1}{L_q}\mathbf{I_2} \end{pmatrix} \tag{50}$$

$$\frac{d}{dt}x_z = -\frac{R}{l_a}x_z + \frac{1}{l_a}u_z \tag{51}$$

$$x_z = i_{\gamma 12} \tag{52}$$

$$u_z = v_{\gamma 1} - v_{\gamma 2} \tag{53}$$

【００７２】

推定対象は式（４５）と式（５１）であるが、これらは独立であるので、個別に考える必要がある。また、式（４５）も１つ目のスター結線１Ｙと２つ目のスター結線２Ｙとも独立であり個別に考える必要がある。

【００７３】

まず、式（４５）は角速度を一定と仮定すれば、通常の線形モデルなので一般のオブザーバが利用できる。なお、モータの定常回転を考えればこの仮定は成立する。また、モータに慣性負荷がある場合には、モータの回転慣性が大きく、角速度変化が電流変化に対して十分大きいため上記仮定は成立すると考えられる。

【００７４】

次に、これら２つの状態方程式の可観測性を検討する。

【００７５】

式（４５）の可観測性を、Ｌｄ＝０．２４８６　ｍＨ，Ｌｑ＝０．５６９５　ｍＨ，ｌａ＝０．１９　ｍＨ，Ｒ＝４６．５　ｍΩ，φｍ＝０．０５１６　Ｖ／（ｒａｄ／ｓ），４極対，ロータ回転数３０００　ｒｐｍ（ω＝１２５７　ｒａｄ／ｓ）の特性のモータで考えてみる。

【００７６】

式（４５）は、独立な２つの状態方程式を含んでいるので、観測行列としては、次のようにすることは明らかに不適である。

【数１５】

$$\mathbf{C}=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\end{pmatrix},\ \mathbf{C}=\begin{pmatrix}1 & 1 & 0 & 0\end{pmatrix},\ \mathbf{C}=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

【００７７】

また、可観測性を調べると、Ｃ＝（１　０　１　０）、Ｃ＝（１　０　０　１）等も不適である。また、独立な各々の可観測性は、Ｒが０の場合でも、１つの状態量のみ測定できれば可観測となる。すなわち、観測行列としては、次のようなものが採用される。

【数１６】

$$\mathbf{C}=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\end{pmatrix},\ \mathbf{C}=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

【００７８】

この諸元では、$\bar{A}$（ω）とＣは可観測対であり、式（４５）は可観測である。

【００７９】

他方、式（１４）であるが、これは状態量が１つなので直接計る他はない。

【００８０】

改めて、推定対象である式（４５）について考え、次の式（５４）～（６０）のように書き換える。

【数１７】

$$\frac{d}{dt}\boldsymbol{x} = \mathbf{A}(\omega)\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B_u u} + \boldsymbol{B_v v} \tag{54}$$

$$\boldsymbol{x} = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \end{pmatrix} \tag{55}$$

$$\boldsymbol{u} = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \end{pmatrix} \tag{56}$$

$$\boldsymbol{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \tag{57}$$

$$\mathbf{A}(\omega) = \bar{\mathbf{A}}(\omega) \tag{58}$$

$$\boldsymbol{B_u} = \bar{\boldsymbol{B_u}} \tag{59}$$

$$\boldsymbol{B_v} = -\bar{\boldsymbol{B_u}} \tag{60}$$

【００８１】

ここで、観測できる値が相電流ｙなので，観測ノイズをｗとしシステムの出力を式（６１）で与えれば、式（６３）のようにオブザーバを組むことができる。ここで、可観測性を考慮し、Ｃは２行６列の行列である。

【数１８】

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{C x_p} + \boldsymbol{w} \tag{61}$$

$$\boldsymbol{x_p} = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \end{pmatrix} \tag{62}$$

$$\frac{d}{dt}\boldsymbol{x_e} = \mathbf{A}(\omega)\boldsymbol{x_e} + \hat{L}(\boldsymbol{y} - \boldsymbol{C}\mathbf{T}'_e(\theta_1, \theta_2)\boldsymbol{x_e}) + \boldsymbol{B_u u} + \boldsymbol{B_v v} \tag{63}$$

$$\mathbf{T}_e(\theta_1, \theta_2) = \begin{pmatrix} \mathrm{t}(\theta_1)\bar{t} & \phi_{2\times3} \\ \phi_{2\times3} & \mathrm{t}(\theta_2)\bar{t} \end{pmatrix} \tag{64}$$

$$\bar{t} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \tag{65}$$

【００８２】

ところが、このままでは、オブザーバゲイン＾Ｌが決められないので、さらに＾Ｌ＝Ｌ（ω）Ｔａ（θ）を導入し、式（６３）を式（６６）のように書き換える。

【数１９】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)\left(\mathbf{T_a}(\theta)y - \mathbf{T_a}(\theta)C\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2)x_e\right) + B_u u + B_v v \qquad (66)$$

【００８３】

ここで、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）がθによらず、一定になるように、Ｔａ（θ）Ｃを選べれば、システムへの入力をＴａ（θ）ｙと見なした線形オブザーバになる。

【００８４】

まず、

Ｔａ（θ）＝ｔ（θ）　（６７）

と仮定し、Ｃの前３列をＣ１、後ろ２列をＣ２、すなわち、Ｃ＝（Ｃ１，Ｃ２）とすれば、上記条件は、以下のように書き換えられる。

【数２０】

$$\mathbf{T_a}(\theta)C\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2) = \begin{pmatrix} \mathbf{t}(\theta)\mathbf{C_1}\hat{\mathbf{t}}'\mathbf{t}'(\theta_1) & \mathbf{t}(\theta)\mathbf{C_2}\hat{\mathbf{t}}'\mathbf{t}'(\theta_2) \end{pmatrix} \qquad (68)$$

【００８５】

ここで、Ｃ１＾ｔ’＝α１Ｉ２かつＣ２＾ｔ’＝α２Ｉ２（α１とα２は定数）であれば、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）は定数行列である。上述の場合と同様に、Ｃを、式（６９）のようにすることとした。

【数２１】

$$C = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \qquad (69)$$

【００８６】

このＣに対し、上述の場合と同様に、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）は一定値となる。ここで、Ｃｔ＝Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）とし、入力をｙ

ｔ＝Ｔａ（θ）ｙとすれば、式（６６）は次式の線形オブザーバとなる。

【数２２】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)(y_t - C_t x_e) + B_u u + B_v v \tag{70}$$

【００８７】

なお、実際のオブザーバは、相電流ｉｕ１と相電流ｉｕ２との両方を一括して測定し、相電流ｉｖ１と相電流ｉｖ２との両方も一括して測定し、観測量～ｙを以下のようにとる。

【数２３】

$$\tilde{\mathbf{y}} = \begin{pmatrix} i_{u1} + i_{u2} \\ i_{v1} + i_{v2} \end{pmatrix} + \tilde{\mathbf{w}} \tag{71}$$

【００８８】

そして、この電流測定値を以下のように用いてオブザーバを構成する。

【数２４】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)(\mathbf{T}_a(\theta)y - C_t x_e) + B_u u + B_v v \tag{72}$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 2/\sqrt{3} \end{pmatrix} \tilde{\mathbf{y}} + w \tag{73}$$

【００８９】

このように、式（７２）（７３）の線形オブザーバを利用することによって、ｉｕ１＋ｉｕ２と、ｉｖ１＋ｉｖ２を観測することで、モータの状態を認識することができる。

【００９０】

結局、６相モータを駆動するために必要な情報を得るためには，以下の方法が考えられる。

【００９１】

（１）零相電流を測定し、他に２つのセンサを使い電流（ｉｕ１＋ｉｕ２、ｉｖ１＋ｉｖ２）電流を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【００９２】

具体的には、図６に示すように、２つのセンサ（ｓｅｎｓｏｒ１～ｓｅｎｓｏ

ｒ３）を設け、加算相電流ｉｕ１＋ｉｕ２、ｉｖ１＋ｉｖ２と零相電流を測定する。

【００９３】

（２）２つのセンサを使い電流を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【００９４】

具体的には、図７に示すように、加算相電流ｉｕ１＋ｉｕ２と零相電流を測定する。

【００９５】

（その他の構成）

ここまでの説明は、図８に示すような独立な２台のモータ（回転数も特性も異なる）についても成立するし、図９に示す３台のモータ（回転数も特性も異なる）についても成立する。

【００９６】

そこで、３台のモータの場合について、説明する。まず、推定対象を次式のように書き換える。

【数２５】

$$\frac{d}{dt}\boldsymbol{x} = \mathbf{A}(\omega)\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}_u\boldsymbol{u} + \boldsymbol{B}_v\boldsymbol{v} \quad (74)$$

$$\boldsymbol{x} = \begin{pmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{d3} \\ i_{q1} \\ i_{q2} \\ i_{q3} \end{pmatrix} \quad (75)$$

$$\boldsymbol{u} = \begin{pmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \\ v_{q1} \\ v_{q2} \\ v_{q3} \end{pmatrix} \quad (76)$$

$$\boldsymbol{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \\ \omega\psi_m \end{pmatrix} \quad (77)$$

【００９７】

ここで、観測できる値が相電流ｙなので，観測ノイズをｗとしシステムの出力を式（７８）で与えれば、式（８０）のようにオブザーバを組むことができる。ここで、可観測性を考慮し、Ｃは２行９列の行列である。

【数２６】

$$y = Cx_p + w \tag{78}$$

$$x_p = \begin{pmatrix} i_{u1} \\ i_{v1} \\ i_{w1} \\ i_{u2} \\ i_{v2} \\ i_{w2} \\ i_{u3} \\ i_{v3} \\ i_{w3} \end{pmatrix} \tag{79}$$

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \hat{L}(y - C\mathbf{T}'_e(\theta_1, \theta_2)x_e) + B_u u + B_v v \tag{80}$$

$$\mathbf{T}_e(\theta_1, \theta_2, \theta_3) = \begin{pmatrix} \mathbf{t}(\theta_1)\bar{t} & \phi_{2\times3} & \phi_{2\times3} \\ \phi_{2\times3} & \mathbf{t}(\theta_2)\bar{t} & \phi_{2\times3} \\ \phi_{2\times3} & \phi_{2\times3} & \mathbf{t}(\theta_3)\bar{t} \end{pmatrix} \tag{81}$$

【００９８】

ところが、このままでは、オブザーバゲイン＾Ｌが決められないので、さらに＾Ｌ＝Ｌ（ω）Ｔａ（θ）を導入し、式（８０）を式（８２）のように書き換える。

【数２７】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)(\mathbf{T}_a(\theta)y - \mathbf{T}_a(\theta)C\mathbf{T}'_e(\theta_1, \theta_2, \theta_3)x_e) + B_u u + B_v v \tag{82}$$

【００９９】

ここで、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２）がθによらず、一定になるように、Ｔａ（θ）Ｃを選べれば、システムへの入力をＴａ（θ）ｙと見なした線形オブザーバになる。

【０１００】

まず、

Ｔａ（θ）＝ｔ（θ）　（８３）
と仮定し、Ｃの前３列をＣ１、真中３列をＣ２、後ろ３列をＣ３、すなわち、Ｃ＝（Ｃ１，Ｃ２，Ｃ３）とすれば、上記条件は、以下のように書き換えられる。

【数２８】

$$\mathbf{T_a}(\theta)\boldsymbol{C}\mathbf{T}'_e(\theta_1,\theta_2,\theta_3) = \left(\mathbf{t}(\theta)\mathbf{C_1}\hat{\mathbf{t}}'\mathbf{t}'(\theta_1) \quad \mathbf{t}(\theta)\mathbf{C_2}\hat{\mathbf{t}}'\mathbf{t}'(\theta_2) \quad \mathbf{t}(\theta)\mathbf{C_3}\hat{\mathbf{t}}'\mathbf{t}'(\theta_3) \right) \tag{84}$$

【０１０１】

ここで、Ｃ１＾ｔ’＝α１Ｉ２かつＣ２＾ｔ’＝α２Ｉ２かつＣ３＾ｔ’＝α３Ｉ２（α１、α２とα３は定数）であれば、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２，θ３）は定数行列である。ここでは、Ｃを、式（８５）のようにすることとした。

【数２９】

$$\boldsymbol{C} = \left(\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \atop \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \right) \tag{85}$$

【０１０２】

このＣに対し、上述の場合と同様に、Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２，θ３）は一定値となる。ここで、Ｃｔ＝Ｔａ（θ）ＣＴｅ’（θ１，θ２，θ３）とし、入力をｙｔ＝Ｔａ（θ）ｙとすれば、式（８２）は次式の線形オブザーバとなる。

【数３０】

$$\frac{d}{dt}\boldsymbol{x_e} = \mathbf{A}(\omega)\boldsymbol{x_e} + \mathbf{L}(\omega)(\boldsymbol{y_t} - \boldsymbol{C_t x_e}) + \boldsymbol{B_u u} + \boldsymbol{B_v v} \tag{86}$$

【０１０３】

なお、実際のオブザーバは、相電流ｉｕ１＋ｉｕ２＋ｉｕ３を一括して測定し、相電流ｉｖ１＋ｉｖ２＋ｉｖ３も一括して測定し、観測量～ｙを以下のようにとる。

【数３１】

$$\tilde{\mathbf{y}} = \begin{pmatrix} i_{u1} + i_{u2} + i_{u3} \\ i_{v1} + i_{v2} + i_{v3} \end{pmatrix} + \tilde{\mathbf{w}} \tag{87}$$

【０１０４】

そして、この電流測定値を以下のように用いてオブザーバを構成する。

【数３２】

$$\frac{d}{dt}x_e = \mathbf{A}(\omega)x_e + \mathbf{L}(\omega)(\mathbf{T}_s(\theta)y - C_t x_e) + B_u u + B_v v \tag{88}$$

$$y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\sqrt{3} & 2/\sqrt{3} \end{pmatrix} \tilde{y} + w \tag{89}$$

【０１０５】

このように、式（８８）（８９）の線形オブザーバを利用することによって、ｉｕ１＋ｉｕ２＋ｉｕ３と、ｉｖ１＋ｉｖ２＋ｉｖ３を観測することで、モータの状態を認識することができる。

【０１０６】

結局、３つの独立したモータを駆動するために必要な情報を得るためには、次の方法が考えられる。

【０１０７】

（１）２つのセンサを使い電流（ｉｕ１＋ｉｕ２＋ｉｕ３、ｉｖ１＋ｉｖ２＋ｉｖ３）を測定し、線形オブザーバを組み合わせる。

【０１０８】

具体的には、図９に示すように、２つのセンサ（ｓｅｎｓｏｒ１，ｓｅｎｓｏｒ２）を設け、加算相電流ｉｕ１＋ｉｕ２＋ｉｕ３、ｉｖ１＋ｉｖ２＋ｉｖ３を測定する。

【０１０９】

また、上述の例では、加算相電流を計測したが、一方の３相コイルの電流のみを検出し、これによってオブザーバの入力を構成してもよい。

【０１１０】

（推定結果）

図１０に推定結果を示す。この図は、通常の６相モータを対象に、１つ目のス

ター結線のｄｑ軸電流を示している。図中、１段目がｉｄ１の実際の値と目標値（破線）、２段目がｉｄ１の推定値、実際の値と目標値（破線）、３断面がｉｑ１の実際の値と目標値（破線）、４段目がｉｄ１の推定値、実際の値と目標値（破線）を示している。ｉｄ１において急峻に電流が変化しているとき（２段目、ｔ＝０．０８５ｓ付近）には、数Ａの推定誤差が生じているが、誤差の低減も早く、また他の部分ではほとんど誤差が確認できない。すなわち、本実施形態のオブザーバを用いれば、十分な精度で電流値を推定できることが確認された。

【０１１１】

以上のように、オブザーバを用いてモータの状態を推定することで、検出する電流の数を減少することができ、システムを簡略化することができる。

【０１１２】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、モータモデルあるいはモータの状態を表すモデルを用いてモータ電流を推定するため、３相コイルのような多相コイルの電流の検出する数を減少できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　６相モータの構成を示す図である。

【図２】　零相電流がある場合における電流センサの配置例（３つ）を示す図である。

【図３】　零相電流がある場合における電流センサの配置例（２つ）を示す図である。

【図４】　零相電流がない場合における電流センサの配置例（２つ）を示す図である。

【図５】　零相電流がない場合における電流センサの配置例（１つ）を示す図である。

【図６】　干渉が２つの３相コイルであって、零相電流がある場合における電流センサの配置例（３つ）を示す図である。

【図７】　干渉が２つの３相コイルであって、零相電流がある場合における電流センサの配置例（２つ）を示す図である。

【図８】　２つの３相モータについての電流センサの配置例（２つ）を示す図である。

【図９】　３つの３相モータについての電流センサの配置例（２つ）を示す図である。

【図１０】　離散系オブザーバにおける推定性能を示す図である。

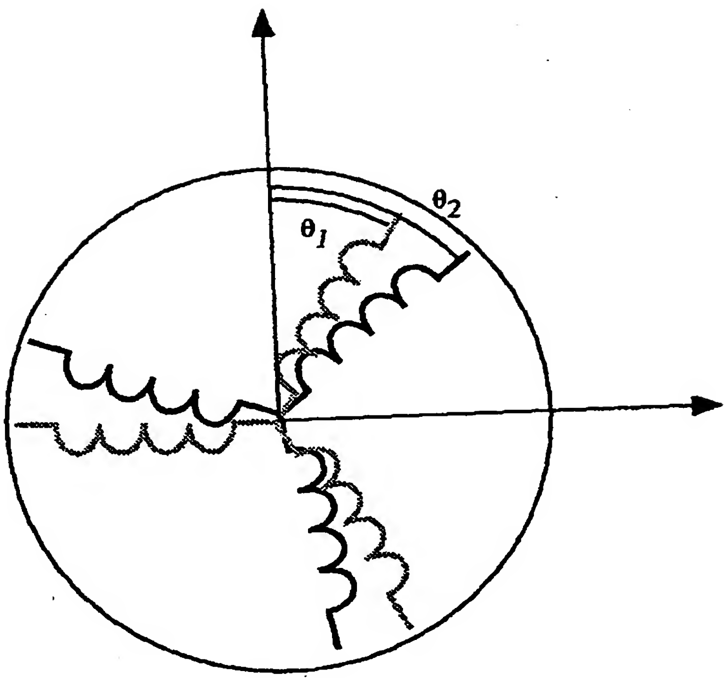
【図１１】　６相モータの基本的構成を示す図である。

【符号の説明】

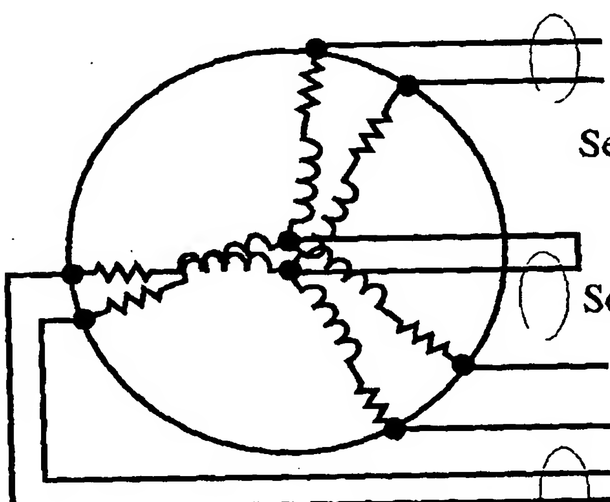
Ｂ　バッテリ、Ｙ１，Ｙ２　３相コイル、Ｍ　モータ、ＩＮＶ１，ＩＮＶ２　インバータ、ＣＯＮ　コントローラ。

【書類名】　　　図面

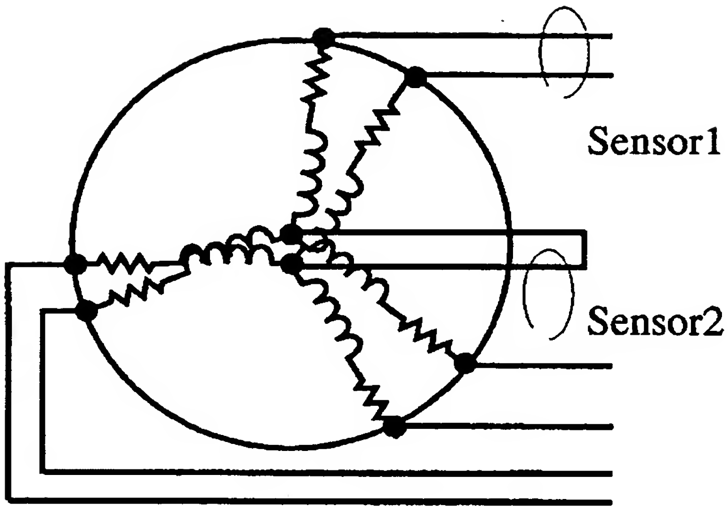
【図１】



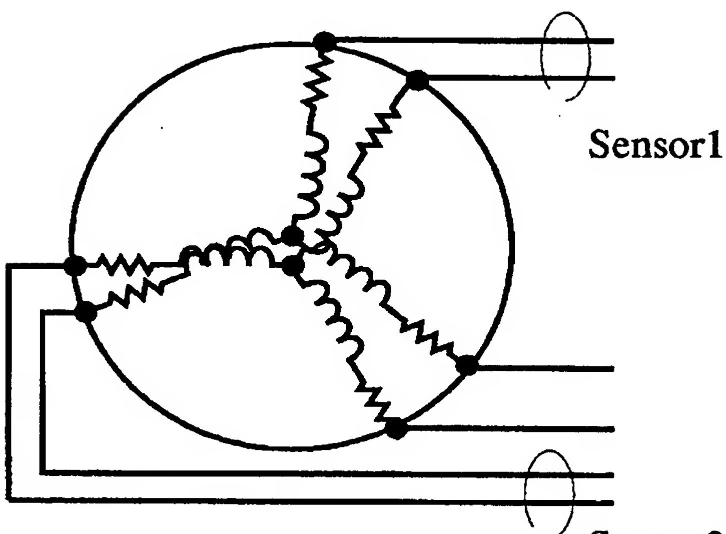
【図２】



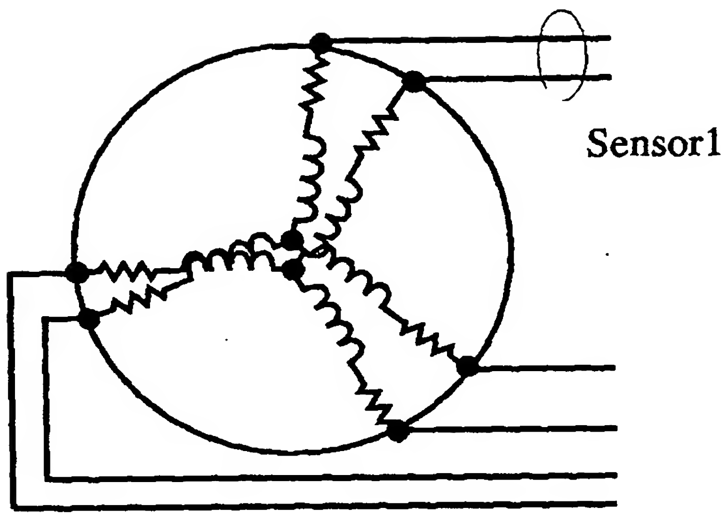
【図３】



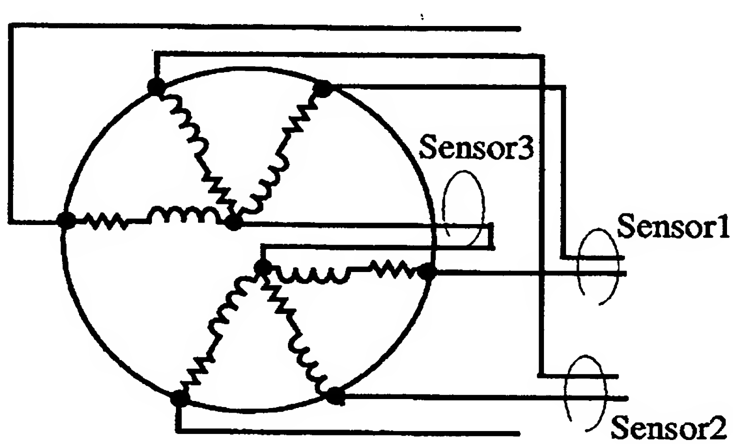
【図４】



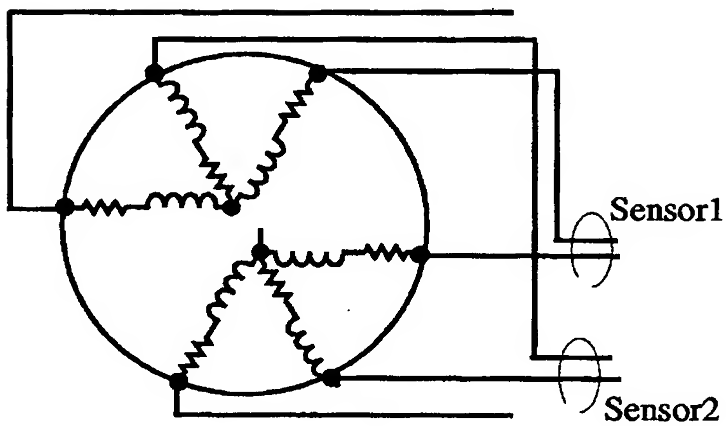
【図５】



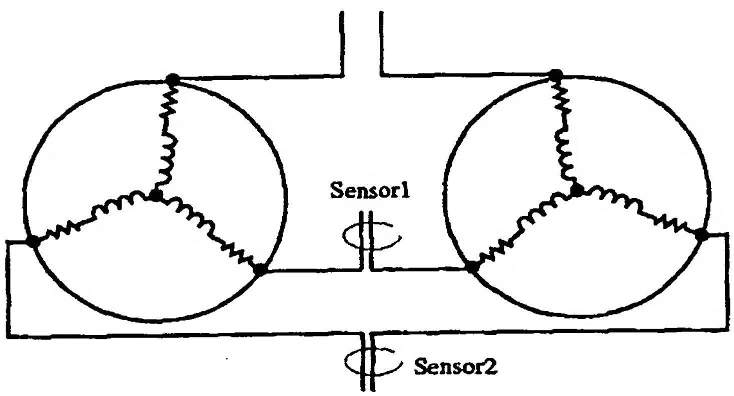
【図６】



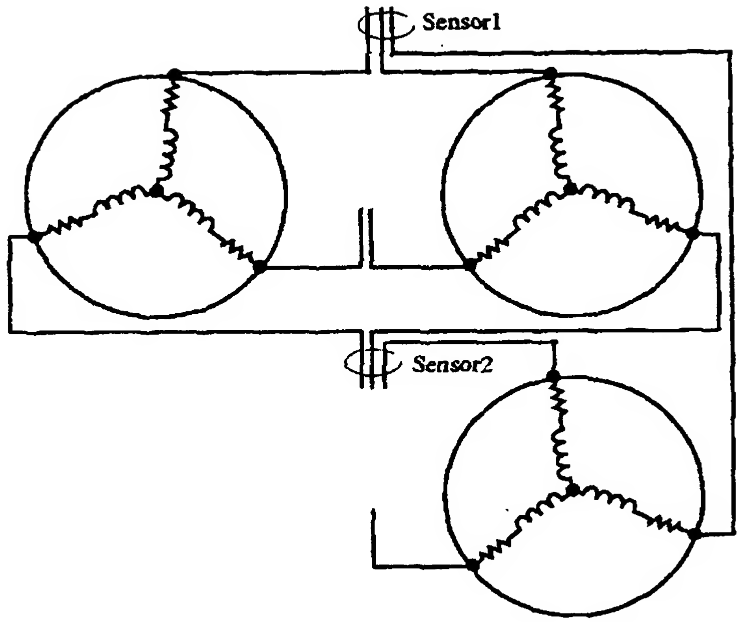
【図７】



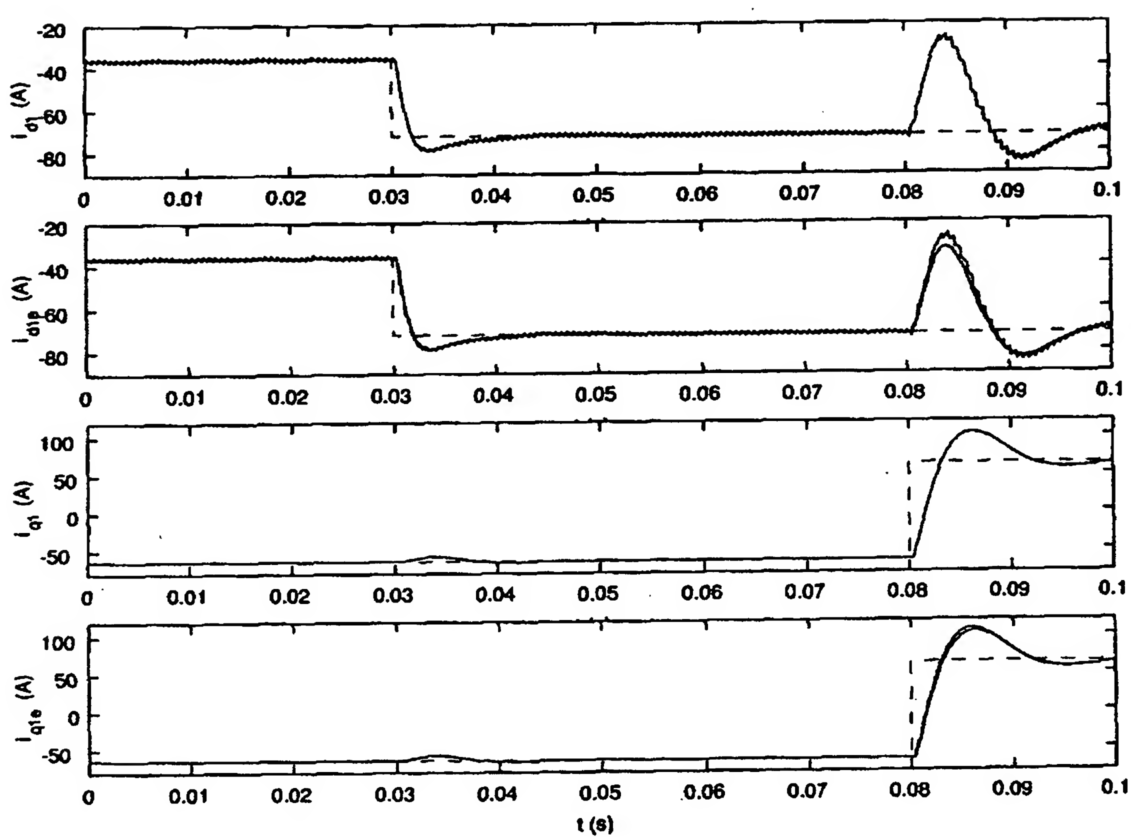
【図８】



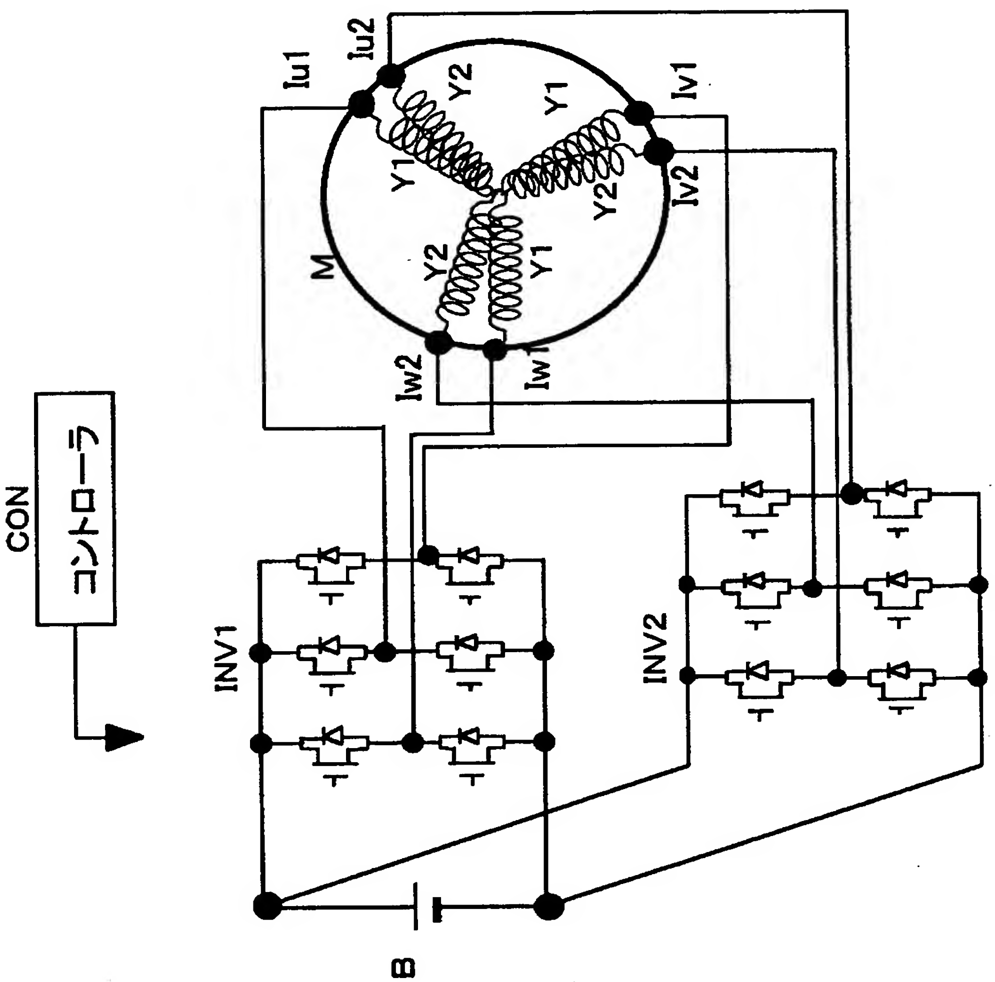
【図９】



【図１０】



【図１１】



【書類名】　　　　要約書

【要約】

【課題】　電流センサの数を減少する。

【解決手段】　３相コイルＹ１，Ｙ２の２つに対し、インバータＩＮＶ１，ＩＮＶ２からそれぞれ相電流を供給する。ここで、通常であれば、各３相コイルＹ１，Ｙ２について、２つの相電流を検出しなければならず、電流センサは４つ必要である。オブザーバを利用して各相電流を推定することで、検出する相電流の数を減少する。

【選択図】　　　　図１１

出　願　人　履　歴　情　報

識別番号　　　　　〔０００００３６０９〕

１．変更年月日　　１９９０年　９月　６日
　　［変更理由］　新規登録
　　　住　所　　愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１
　　　氏　名　　株式会社豊田中央研究所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号　　　　　〔０００００３２０７〕

１．変更年月日　　１９９０年　８月２７日
　　［変更理由］　新規登録
　　　住　所　　愛知県豊田市トヨタ町１番地
　　　氏　名　　トヨタ自動車株式会社